

平成23年度 RSET 部門別研究成果報告書

部門名	(第4部門) エネルギー・環境材料	部門長	上杉喜彦
<p>1. 研究成果の概要（全体成果概要）</p> <p>本部門研究では、「重相構造プラズマ」の構造解明と制御手法の基礎開発研究に関して研究を行っている。この重層構造プラズマは高気圧高温プラズマを利用する産業に多く表れ、その構造を詳細に理解し、さらに高度に利用することが産業の革新技術に繋がる。ここでは、これまで培ってきた「大電力かつ大気圧で動作する高熱流プラズマ」、「大電流での超高温アークプラズマ」あるいは「高強度レーザアブレーションプラズマ」を生成する技術を用いて、「エネルギー・環境材料」分野での応用技術に繋げることを全体目標としている。</p> <p>平成23年度の成果は、以下の個別課題「アークプラズマの高速な応答を介し、高速に大電流を遮断する技術の高度化」、「超高温アークプラズマを利用した材料切断や溶射技術の高効率化」、「次世代高速・高効率半導体プロセスの開発」、「熱核融合炉における低損傷・低損耗の材料の開発」とトリチウム除去に関する基礎物理」、「機能性材料の表面改質技術やナノ粒子の高速生成技術の開発」、「プラズマ支援による高効率燃焼技術の開発」に関する、基礎研究実験装置の構築と基礎データの取得である（←ロードマップ、年次計画において平成23年度研究の位置づけ）。</p> <p>以下の章において個別課題の具体的成果を示す。</p>			
<p>2. 2011年度実施計画概要に対応した成果報告および活動報告（個別成果）</p>			
<p>2.1. 大電流アーク遮断現象解明に関する研究（株式会社東芝との共同研究とも関連）＜連携：田中、上杉、森本＞</p> <p>→実施計画書：「誘導プラズマ/アークプラズマ発生装置等を用いた高エネルギー密度プラズマ-固体材料相互作用の解明にむけた基礎実験」、「非平衡電磁流体解析コードの開発」</p> <p>現在、高電圧電力系統においては、短絡故障時には63 kAもの大電流が流れる。電力用遮断器はこの大電流を確実に高速に切る責務を負う。大電流遮断時に、電力用遮断器において電極を開極するとアークプラズマが発生する。遮断器はこのプラズマにSF₆ガスを吹き付けることでプラズマを消滅させることにより大電流を遮断している。しかし、アーク遮断現象は非常に高速の過渡現象であり、プラズマ温度、電子密度などの減衰過程は完全には解明されていない。最近ではポリマーの溶発現象からの影響も取りざたされており、その解明が望まれている。平成23年度においては、上記遮断現象を把握するために簡易アーク装置を設計構築し、アーク挙動を高速ビデオカメラで確認した。ガス吹付けアークにおいては、おもにノズルスロットと呼ばれ最もノズルが絞り込まれた箇所におけるアークが高速に減衰していく様子が確認できた。本実験装置の構築により分光装置などと組み合わせアークの減衰過程を詳細に検討できる可能性がある。またこのアークプラズマの減衰過程を対象とした非平衡電磁熱流体解析モデルの構築に着手し、プラズマ減衰過程における温度変化などを明らかにできた。</p>			
<p>2.2 新型変調型誘導熱プラズマによる高速表面改質技術への応用に関する研究</p> <p>→実施計画書：「誘導プラズマ/アークプラズマ発生装置等を用いた高エネルギー密度プラズマ-固体材料相互作用の解明にむけた基礎実験」＜連携：田中、徳田、川江、上杉、石島、猪熊＞</p> <p>独自に開発した「大電力変調型誘導熱プラズマ発生装置」を用いて高エネルギー密度プラズマを発生させ、材料表面改質を試みた。変調型誘導熱プラズマ装置は、熱プラズマを維持するコイル電流を矩形波的に変調させることにより、熱プラズマに過渡変化を与えるものである。この技術により、従来困難であった熱プラズマ温度の詳細制御を行うほか、反応性の高い粒子（ラジカル）を高密度に得られることを確認している。平成23年度においては、Ar-N₂-H₂変調型誘導熱プラズマを用いて、Ti材料の高速窒化処理を試みた。その結果、変調を加えた誘導熱プラズマを用いた場合、変調させない誘導熱プラズマの場合に比較して、試料材料表面温度を低下させた状態で、かつ表面改質に必要な照射ラジカルの密度を高められることを、分光観測と質量分析器の結果から確認できた。これらの結果は、変調誘導熱プラズマを用いた場合に材料表面の熱ダメージを抑えた高速表面改質プロセスが実現できることを示している。</p>			

2.3 新型変調型誘導熱プラズマによる機能性ナノ粒子の高制御・高速生成（日清製粉グループ本社との共同研究と関連）＜連携（準備も含）：田中、上杉、大谷、瀬戸、石島＞

→実施計画書：「誘導プラズマ/アークプラズマ発生装置等を用いた高エネルギー密度プラズマ-固体材料相互作用の解明にむけた基礎実験」、「プラズマとナノ粒子間の重相相互作用の検討」

独自技術「大電力変調型誘導熱プラズマ発生装置」のもう一つの応用技術として、機能性ナノ粒子の高制御・高速生成を試みている。ここでターゲットとしたナノ粒子は酸化チタン TiO_2 ナノ粒子である。 TiO_2 は色素増感型太陽電池材料、光触媒、水処理、水素生成などへの利用がなされ研究されている。最近ではアレルギーのない治療薬への応用も期待されている。変調誘導熱プラズマを用いて TiO_2 ナノ粒子を生成でき、変調度に応じて粒径を制御できることが判明した(図1)。さらにアナターゼ準安定相の割合は変調度にかかわらず 0.8 以上と高い値となることがわかった。

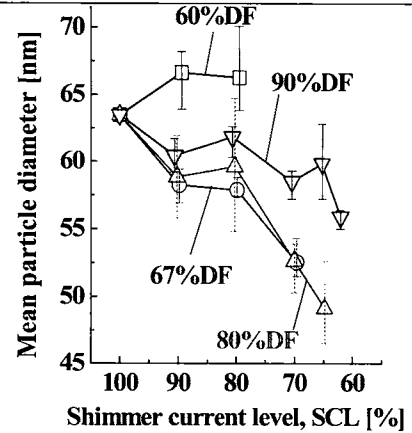


図1. 粒径と変調度の関係

2.4 プラズマ切断装置におけるアークと電極界面相互作用の解明（株式会社コマツ産機との共同研究と関連）＜連携（準備も含む）：上杉、田中、石島、森本＞

→実施計画書：「誘導プラズマ/アークプラズマ発生装置等を用いた高エネルギー密度プラズマ-固体材料相互作用の解明にむけた基礎実験」、「重相構造プラズマと固体材料間の相互作用を用いた新規機能性発現材料創成の検討」

アークプラズマを用いる産業応用としてプラズマ切断機がある。プラズマ切断機のランニングコストは電極として用いるハフニウムの損耗が押し上げており、この損耗を抑えることが重要である。アークプラズマが維持された状態でハフニウム電極との接触点の温度を、カラー高速度ビデオカメラとノズル窓を適用することで明らかにする方法を考案検討した。その結果、電極表面温度の分布とその時間変化を、明らかにでき、さらに電流、ガス流量、圧力条件を変更させた場合の影響についても明らかにできた。

2.5 静電放電重畳による炭化水素燃焼の速度向上に関する研究＜連携：上杉、田中＞

→実施計画書：「電磁場・高エネルギー密度プラズマ重畳による炭化水素燃焼促進効果の解明」

近年、環境・エネルギー問題への関心の高まり、エネルギー資源の有効利用が求められている。その解決策として、プラズマ支援燃焼が提唱されている。プラズマ支援燃焼では、燃焼場にプラズマを重畳させて、燃料の着火性の向上や、燃焼反応を促進させる技術である。その中でもここでは特に、非平衡プラズマが燃焼反応へ及ぼす効果に注目した。この技術は内燃機関における燃料の高効率利用や、希薄燃焼の安定化、着火の促進に応用できる。本研究では、燃焼火炎への大気圧のグロー放電重畳した場合の効果の解明を目的とし、ブタンと酸素の予混合炎を対象とし、電極を用いて放電を重畳させた。その結果、直接燃焼炎に放電を重畳することで高エネルギーの電子を容易に供給することができ、顕著な燃焼反応促進効果が得られることを見出した。放電の有無による発光強度変化、燃焼速度の変化という観点から放電重畳効果を検討できた(図2)。

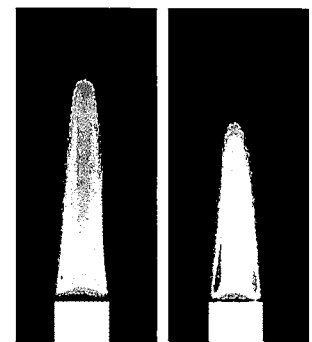


図2 燃焼炎への放電重畳効果

(左：燃焼炎のみ、右：放電重畳時)

3. 反省点

平成23年度においては個別研究について、一定の成果を得ることができた。今後は、応用研究に直結する成果をあげるとともに、さらに連携ネットワークの構築とネットワーク濃度を高め、より分業的に効率的に研究を進めていく必要があり今後の課題である。

平成23年度 第4部門 RSET 部門別研究成果リスト

1. 研究論文（学術雑誌掲載のもの）

番号	題 目	掲載誌 巻・号・頁	発表年月	著者名	レベルの 自己判定
1	Spallation particle ejection from polymer surface irradiated by thermal plasmas	IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 39, No.11, pp.2776-2777.	2011, 11	Y. Tanaka, N. Shinsei, K. Amitani, J. Wada, S. Okabe	4
2	Refractory Organic Solute Decomposition in Water using Microwave Plasma	Trans. Mater. Res. Soc. Jpn. Vol.36, pp.475-478.	2011, 11	T. Ishijima, R. Saito, H. Sugiura, H. Toyoda	4
3	Hysteresis loops of polarization and magnetization in BiNd _{0.05} Fe _{0.97} Mn _{0.03} O ₃ /Pt/CoFe ₂ O ₄ layered epitaxial thin film grown by pulsed laser deposition	Thin Solid Films, Vol. 519, Issue 22, pp.7727-7730.	2011, 9	T. Kawae, J. Hu, H. Naganuma, T. Nakajima, Y. Terauchi, S. Okamura, A. Morimoto	4
4	Influence of coil current modulation on TiO ₂ nanoparticle synthesis using pulse-modulated induction thermal plasmas 他29編	Thin Solid Films, Vol. 519, Issue 20, pp.7100-7105.	2011, 8	Y. Tanaka, H. Sakai, T. Tsuke, Y. Uesugi, Y. Sakai, K. Nakamura	4
(レベルの自己判定について4段階で記入)					
4. 国際的に高水準の成果					
3. 国際水準または国内高水準の成果					
2. 外国語による公表または国内水準の成果					
1. 国内誌等への公表成果					

2. 研究論文（国際会議のプロシーディング）

番号	発表論文題目 (国際会議名、開催地等)	掲載誌 巻・号・頁	発表年月	著者名	国際会議 の評価を 自己判定
1	Influence of Microwave Electric Field on Spatial and Time-Variation of H _β Spectra in Pulsed-Microwave Atmospheric Pressure Plasma (ICPIG XXX, Belfast, U.K.)	Proceedings of the 30th International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG), p. 18	2011, 9	T. Murase, A. Kamata, T. Ishijima, H. Toyoda	A
2	Nanoparticle synthesis using high-power modulated induction thermal plasmas with intermittent synchronized feeding of raw materials (ISPC-20, Philadelphia, USA)	Proceedings of the 20th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC)	2011, 7	Y. Tanaka, H. Sakai, T. Tsuke, W. Guo, Y. Uesugi, Y. Sakai, K. Nakamura	A

3	Dynamic response of refractory metal electrode to \sim GW/m ² plasma heat load in the stabilized arc discharges (1st Int. Conf. Fusion Energy Mater. Sci, Rosenheim, Germany) 他 3 9 編	Proceedings of 1st Int. Conf. Fusion Energy Mater. Sci. p.198.	2011, 5	Y. Uesugi, K. Yoshida, Y. Katada, Y. Yamaguchi, Y. Tanaka	A
(国際会議の位置付け・評価を自己判定して3段階で記入) A. 世界規模あるいは大規模な国際会議、国際シンポジウム等 B. 中規模の国際会議・国際シンポジウム等 C. 特定分野・小規模な国際会議・国際シンポジウム等					

3. 国際会議等の基調講演・招待講演

番号	演 題 (国際会議名、開催地等)	発表年月	著者名・発表者名 (発表者名に*印)
1	Arc plasma simulation inside a plasma arc cutting torch considering hafnium cathode evaporation (The 3rd Int. Round Table on Thermal Plasmas for Industrial Applications, Johannesburg, South Africa) 他 2 件	2011, 11	Y. Tanaka*, N. P.Long, Y. Katada, Y. Uesugi, Y. Yamaguchi

4. 著書、編書

番号	書 名	発 行 所	発行年月	著者名
1	薄膜工学(第2版)	丸善(東京)刊	2011, 6	金原粲、多賀康訓、 吉田貞史、森本章治 他 17 名

5. 報告書、解説、資料、展望、総説など

番号	種 別	題 目	掲載誌 巻・号・頁	発表年月	著者名
1	資料	Ar/CH ₄ /H ₂ 変調型誘導熱プラズマによる炭素膜生成実験	電気学会プラズマ研究会 PST-11-117(5pp)	2011, 12	藤本健太、 春多洋佑、 田中康規、 上杉喜彦
2	報告書	「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」 他 1 9 編	工業ナノ粒子フィルタ性能試験に関する手順書・新エネルギー・産業技術総合開発機構委託研究(P06041)	2011	大谷吉生、 瀬戸章文

6. 特許等

番号	発明の名称	種別	番号	登録番号	氏 名
1	帯電粒子の帯電量特定装置 他、公開特許 4 件	特許公開	2011-202965		大谷吉生 瀬戸章文

7. 口頭発表

番号	演 題 (学会名、開催地等)	発表年月	発表者名 (発表者名に*印)
1	Nanoparticle Synthesis of TiO ₂ and Ni using Pulse-Modulated Induction Thermal Plasmas, (Plasma conference 2011, Kanazawa, Japan)	2011.11	T. Tsuke*, W. Guo, Y. Tanaka, Y. Uesugi, S. Watanabe, K. Nakamura
	他 10 件		

8. 外部資金の獲得状況について

(1) 科学研究費補助金（研究種目、研究課題名、代表・分担等）

- ・挑戦的萌芽研究、ナノ・マイクロ／スプレーションポリマ粒子分散系による大電流アーク遮断の新技術創出、代表・田中康規
- ・基盤研究(A)、スマート変調制御高熱流メゾプラズマシステム開発による革新的高効率ナノ材料生成、代表・田中康規
- ・若手研究(B)、液中内気泡プラズマの基本特性の解明、代表・石島達夫

(2) 政府出資金事業等（事業名、出資機関名、代表・分担等）

- ・研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）フィージビリティスタディ（F S）ステージ探索タイプ、高気圧変調誘導熱プラズマによる純金属ナノ粒子の革新的高効率・大量選択生成法の開発、代表・田中康規

(3) 国、地方、民間等との共同研究（研究題目、機関名、代表・分担等）＜民間の場合には企業名の記載なし＞

- ・大阪大学接合科学研究所公募共同研究、代表・田中康規
- ・東北大学流体科学研究所公募共同研究、代表・田中康規

他 3 件

(4) 受託研究（研究題目、委託機関名、代表・分担等）＜民間の場合には企業名の記載なし＞

(5) 企業・財団等の助成金（賞）（企業・財団等名、研究題目、事業名又は賞名、代表・分担等）

- ・財団法人 JKA、ナノマイクロポリマによるアーク遮断研究補助事業、代表・田中康規

(6) 特許等による研究費（研究費を受ける発明の名称等）

なし

(7) 奨学寄附金（件数）

1 件

第4部門 平成23年度 シンポジウム、セミナー、会議等の開催実績

番号	シンポジウム、セミナー、会議等 (開催地、参加者数)	開催年月	開催者名 (責任者名に*印)
1	Seminar of Plasma-Material Interactions and Fusion Material (Prof. Kyu-Sun Chung, Center for Edge Plasma Science, Division of Electrical & Biomedical Engineering, Hanyang University) (金沢、参加者 20 名)	2012, 2	上杉喜彦* 田中康規* 石島達夫
2	Seminar of High Density Thermal Plasma Applications (Dr. Choi, Tokyo Institute of Technology, Dr. Dougakiuchi, Shimane Institute) (金沢、参加者 20 名)	2012, 1	上杉喜彦 田中康規* 石島達夫
3	PLASMA conference 2011 (金沢、参加者 1072 名)	2011, 11	上杉喜彦* 田中康規 石島達夫 森本章治 川江 健 徳田規夫
4	Seminar of Understanding of diamond electronic junctions and interfaces via atomic and Kelvin force microscopy (Dr. Bohuslav Rezek, Head of Laboratory of Functional Nano-Interfaces at the Department of Thin Films and Nanostructures, Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic) (金沢、20 名)	2011, 11	猪熊孝夫* 徳田規夫
5	第2回プラズマ支援燃焼研究会 (滋賀県大津市、60 名)	2011, 11	上杉喜彦*

平成23年度のテレビ放映、新聞報道など

- ・北國新聞（平成23年4月21日、「高性能メモリーに新素材」）
- ・日刊工業新聞（平成23年9月7日、「ダイヤモンドからグラフェン 金沢大が合成法 たわみ少なく品質安定」）
- ・朝日新聞（平成24年2月8日、石川版、「金沢大学探訪 ダイヤモンド基板開発」）

シンポジウム・セミナー 内容報告

・平成23年度は、1件の国際会議、1件の研究会、3件のセミナー開催に第4部門担当者が関わった。特筆すべき事項としては、2011年11月22日から25日まで石川県金沢市の「石川県立音楽堂」、「ANA クラウンプラザホテル」と「金沢市アートホール」の3会場で開催した Plasma Conference 2011（略称 PLASMA2011）が挙げられる。PLASMA2011 国際会議は、プラズマ・核融合学会、応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会、日本物理学会領域2の3学会が、それぞれの学会を併せて開催した初の試みであった。参加者は合計で1072名、アルバイトも含めると1100名以上の研究者、学生が参加した。第4部門内の専任・兼任・協力教員の計6名の方々には、本会議への研究発表だけではなく現時実行委員としてもご協力頂くことで、当初予想を大幅に上回る会議の運営を滞りなく行うことができた。詳細なプログラムは、会議 HP^{*1}を参照いただくこととして、各講演種目の件数のみを表1に示す。また、公開講演会講演会として、「プラズマが拓くエネルギーの未来」をテーマとして、文部大臣・科学技術庁長官を歴任された有馬朗人先生から「日本のエネルギーの未来と核融合」の演題で、産業技術総合研究所・太陽光発電工学研究センターのセンター長であられる近藤道雄先生から「太陽光発電が拓く安心安全エネルギーの世界」の演題でご講演頂いた。

本会議は、主催団体に属さない講演者・聴講者も多数おられたことから、合同開催によるメリットが生じたと考えられる。合同開催の別な面でのメリットは、分散して展開されている科学研究活動を俯瞰し、新たな発展を図るための情報交換の場を提供することである。本会議においては学会連携セッションとして融合分野を設けたが、その比重が会議規模に対して小さかったことが課題として残った。今後の合同会議運営に生かしていきたい。

表1 PLASMA 2011 講演数

講演数	
基調講演	11
シンポジウム	18
International Session	34
国内招待講演	20
一般講演口頭発表	223
一般講演ポスター発表	516
公開講演	2
受賞記念公園	7
ポストデッドライン講演	4
計	835

^{*1}, <http://www.jspf.or.jp/PLASMA2011/jpn/contents04.html>

アドバイザーボード報告（第4部門）

I 自己評価

研究成果の目標達成度： A:高い B:やや高い C:やや低い D:低い	(B)
<p>研究開始から現在までの達成状況を評価するとともに、課題を整理・解析してコメントして下さい。</p> <p>平成 23 年度の研究においては、個別研究の実施と連携研究準備を行った。個別研究においては、重相構造プラズマに関連する、プラズマ-電極相互作用の解明、高熱流プラズマを用いた独自手法による表面改質手法の検討、ナノ粒子の制御生成、遮断アーク装置の開発などを行い成果報告書にある一定の成果をあげた。連携研究に繋げるために、個別研究においても連携協力者に意見を募るなど行った。今後さらに強い連携を持つためにさらに努力する必要がある。</p>	
次年度の研究内容と目標は適切か： A:適切 B:概ね適切 C:やや不適切 D:不適切	(B)
<p>前項の評価を反映させ、課題に対する計画の改善点を明示し、コメントして下さい。</p> <p>平成 24 年度においては、平成 23 年度に開発あるいは購入した装置を用いて、重相構造プラズマの基礎物理の詳細理解とその制御、応用を意識した基礎実験・検討をさらに詳細に行っていく。ここでは平成 23 年度に構築したネットワークを強化するために、実施計画案において、より具体的なテーマを提示し分担・分業を行えるようにしている。また具体的な企業との共同研究と関連させ、応用視点をさらに加えた基礎研究を行う。</p>	

II 外部アドバイザー（東京大学・吉田 豊信先生）のご意見

研究成果の目標達成度： A:高い B:やや高い C:やや低い D:低い	(B)
<p>コメント</p> <p>個別的な研究では成果が認められるが、センターの一部門としての成果を問われた場合に明快な回答を出せるまでには至っていない感じがする。理由は、従来研究の延長が主で、“三種のプラズマ生成技術を基盤技術として「重相構造プラズマの制御手法の開発」を実施する”という大命題に新たに部門としてどのように直接的に挑戦するかが不確かな為であろう。当該目的に向け、研究手法、年次計画、組織内での役割分担、等に関してメンバー全体で討議し、部門としての意識の共有が必要であり期待される。</p>	
次年度の研究内容と目標は適切か： A:適切 B:概ね適切 C:やや不適切 D:不適切	(B)
<p>コメント</p> <p>個々の計画概要は興味深いが、第4部門として「重相構造プラズマの制御手法の開発」に向け、まずはブラックボックスとして取り扱われている重相構造プラズマをどのような手法で解明していくかに関する戦略的提案が望まれる。特に、数値解析に関してはある程度見通しが立っている感じがするが、計測・診断に関する実験的アプローチに関する提案が見えない。如何なる手段を用いるのか、あるいは開発するのかを明確にすべき時期かと思う。当然ながら、その展開には現在技術のみでは対応困難と考えられ、当該部門の英知を結集した展開を期待したい。</p> <p>なお、本部門がターゲットとするプラズマの表記用語として、a) 高密度混相プラズマ、b) 非平衡・重相極限プラズマ、c) 重相構造プラズマ、の三通りが使用されているようだが、プロジェクトにおける用語の統一は重要である。</p>	